連載16

消化管内視鏡を育てた人々

EUS
(超音波内視鏡)
(1)

長廻 紘
(ながさこ こう)

内視鏡と小型で高周波数の超音波探触子(プローブ)を組合わせた、内視鏡下超音波(endoscopic ultrasonography、EUS※)が世に出たのは、第4回欧州消化器内視鏡学会(1980年、ハンブルグ)である。

内視鏡検査とは表面の観察から診断する検査法であり、深部のことは判らない。全体像は経験でカバーするしかない。形、表面の所見、生検による(表層部の)組織所見を総合すれば、内視鏡は非常に高い精度の検査法である。しかし、内視鏡が診断だけでなく、治療手段として重要性を増してくると、病変とくに腫瘍性病変深部のより詳細な情報が求められるようになってきた。

ハンブルグの学会では2種類のEUSの使用経験が報告された。ひとつはオリンパス社とアロカ社が共同開発したラジアル走査型EUS、他は米国SRI社の電子リニア型EUSである。数㎜以下の厚さの消化管壁や腸管ガスにより覆われて視覚化の困難な後腹膜臓器である膵臓などについては、体表からの超音波診断装置では満足な診断像は得られない。腹部のみならず、胸郭内の臓器などについても、体腔内(食道、直腸など)から走査を行いたいという願望は早くからあった。

体腔内走査法の創始者は米国のWild' Reidらで、1947年頃より、癌診断への応用の検討からスタートした。彼らはパイオニアの常として、既存の装置ではなく、装置を自作して研究を始めた。周波数が低く、非破壊採傷装置ではない米空軍のフライトシミュレーターに使用されていた15Mcの振動子を用いて、生体、組織映像化の研究を開始した。現在の市販品に比べても周波数は高く(15MHz)、腸管壁の走査に適していたが、発振パルスは長く分解能は劣るものであった。

日本では、経直腸的前立腺診断法（東北大、渡辺ら、1968）が初期の注目すべき業績である。直腸内にバルーンをつけた振動子を挿入し、これを回転して断層像を得るもので、鮮明な前立腺の断層像から前立腺肥大症や前立腺癌を診断することができた。管腔に近接して存在する臓器が対象であるこれらの方法を、消化管の診断に応用することは困難であった。食道、胃、大腸などの管腔性に走査部を安全に挿入し、しかも壁と周囲臓器の高解像度の診断に供する画像を得るという要求を満たすためにはなお装置面での開発が必要であった。

※EUS：内視鏡を用いる体腔内超音波断層法を日本では超音波内視鏡と通称されているので、本稿でもそれに従う。英語標記を日本語に訳すと内視鏡的超音波（診断法）となり、その方が事実に近い。

ラジアル式EUS

ラジアル走査用の装置は名古屋三菱病院久永光造（現、久永内科クリニック）らによって開発が始まった。最初は内視鏡を使用することなく、先端にendo-probe（探触子）を取付けた細長いシャフトを食道内に挿入した。やがて内視鏡を用いた、より正確な方法へと進化した。

この久永らの方式を取入れてオリンパス社が、超音波機器メーカーのアロカ社と提携して開発したのがラジアル走査型超音波内視鏡である。ラジアル型超音波内視鏡試作1号機は、Olympus GFB3機に5MHzの円盤型振動子を取付けたものである。

この試作に関与された福田守道先生（写真①）に開発のご苦労についておききしました。

①福田守道先生

「超音波内視鏡の開発については1979年秋、オリンパス光学開発部より私共に正式に打診があり、同社において協議が行われました。同社には当時超音波技術者は皆無で、同年5月にアロカ社出身の馬場和雄が入社し、初めてその企画が具体化するに至ったわけです。最初Aeronautics社の10MHzの振動子が検討されたが、国産の振動子としては5MHzが限界で、これに各種回路、表示装置を加える必要があり、装置のOEM供給を引き受けたアロカ社も、振動子回転式の前立腺検査用装置に一部手を加え供給したのが実状でした。周波数は5MHz、分解能は低く、XYスキャナ、残光性ブラウン管仕様であったため、リアルタイム装置では当時すでに普遍化していたスキャンコンバータによるビデオ録画、フリーズ機構も付属していないものでした。

体内に電子装置である超音波走査部分を挿入する際、もっとも注意を要するスコープ部分の完全な絶縁を含む設計について全面的に馬場が担当し、試作機の完成を見ました。以後試作5型機までの設計はすべて馬場によって企画立案・改良が進められ、実用機の完成にこぎ着けたのです。最初の試作機は1980年3月に届きましたが、体外走査用として3.5～5MHzの画像に慣れたものにとっては、観察装置が残光性ブラウン管で、90度の画角しかもたず、フレームレート8／秒、かつ走査方向が不明で、画像の記録に高価なポラロイドフィルムを使い続けなければならなかった苦労は今も鮮明に記憶に残っています。

装置の使用に当たっては、内視鏡の取り扱いと画像記録担当と最低2名による検査の実施が必要であったのです。同時期に名大第2内科、京都第2日赤をはじめ多くの研究者に試作機として検討が依頼されたものの、超音波診断装置の取り扱いに不慣れな消化器内視鏡の先生方にはほとんど利用されるに至らなかったよ

うです。試作機は内視鏡先端部分に組み込まれた走査室内の振動子を鋼線を束ねたフレキシブルシャフトを介してモータ駆動を行うため、スコープ外径は13㎜と太く、先端硬性部は長く、さらにゴムバルーンを装着して挿入するため、挿入自体あまり容易ではありませんでした。もっともMayo Clinic、DiMagnoらによって報告された10MHz Linear Scannerは硬性部がさらに長く、人体には実用不可能で、当社の報告は実験動物についての報告にすぎませんでした。」

――試作機はいかがでしたか。

「試作1号機は振動子を駆動するためのモータパワーの限界から回転速度は一様でなく、わずかな屈曲で回転が停止したり、また平板振動子の断線が頻発し、交換まで2～3ヵ月を要するなどトラブルが続きました。この間、最初の試作機が当時フランクフルトで活躍中のM. Classen博士に届けられ、いち早くその画像が同年ハンブルグで開催された第4回欧州消化器内視鏡学会で報告され、超音波内視鏡の最初の発表として記録されるに至ったのです。たまたま同会議に参加され、後に日本消化器病学会理事長を努められた竹本忠良氏がこれを知り、激怒されたことは有名であります。われわれに対する試作機の提供も同時期であったのですが、報告は一年間差し止めとの要請を受けており、結果的にドイツ学派に先鞭を付けられた形となりました[注1]。

初期のEUSは得られる画像の分解能が低く、その実用性に疑問をいだくむきが少なくありませんでした。しかし、試作3号機に至って初めてスキャンコンバータを使用し、画像のフリーズ機構がつき画像の理解が著しく容易となり、走査角は180±45度と拡大し、駆動機構の故障も少なく、ほぼ実用のレベルに達しました。その後360度走査方式の4号機（Olympus GFUM2/EUM2）が製作され、さらに性能向上し、実用機として市販されるに至りました。

なお機械的な故障の他に画像を劣化させる重大な一因として、走査室内への気泡の混入があげられます。具合の悪いことに振動子回転により気泡は分散し、著しい画像の劣化を生じました。見つけ次第いちいち送り返して除去をお願いしていましたが、大晦日にふと気がついて、点滴台にスコープを吊したまま回転させ、正月3箇日を過ごしたところ、気泡の消失を見、使用

を継続できました。後で確認したところ、手元操作部に小さな空気溜めがあり、処置の正しかったことを知りましたが、取扱説明書には記載がなかったのは残念でした。」

その後走査野は180度、360度と改善され、TVモニタの導入、振動子の周波数の上昇など性能の改善を見て、多くの研究者に愛用され現在消化器病学では不可欠の検査法となった。

ラジアル走査EUS開発初期の思い出

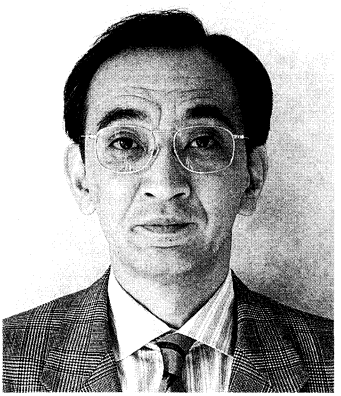
アロカ社、オリンパス社で超音波診断装置の機械設計に従事していた馬場和雄氏（写真②）に開発初期のことをおききしました。

「私は昭和54年5月にオリンパス社の内視鏡開発部門に移りました。そして〝内視鏡技術と超音波技術を組み合わせて何か有用な物ができないか検討せよ〟とのテーマのもとに、超音波内視鏡の開発に着手しました。目指したのは上部消化管用の超音波内視鏡で、その主たる目的は膵臓の断層診断に有りました。

まず最初に突き当たった壁は、社内に超音波を熟知した電気技術者がいないことでした。機械回りは私がするにしても電気技術者がいなくてはどうしようもありません。困った私はアロカ社で同期の電気技術者にきてもらうことにしました。しかし、観測装置をゼロから作ることは1人の電気技術者だけでは時間的にもたいへんなことです。そこで古巣のアロカ社に依頼することに決め、最小限ながら開発体制を整えました。

実用的なものにするにはどのようにすべきかを考え、次のような基本仕様を設定し開発を進めました。すなわち、①広い診断範囲が得られるようにラジアル走査にすること、②体腔内での操作性を良好に確保するために、内視鏡の基本機能はしっかり保有させること、

②馬場和雄氏



③小形化、高分解能を達成するために、シングル振動子を用いたメカスキャン方式にすること、の3点です。これを具現化した試作1号機は久永氏やSRI社の装置とは全く異なり、振動子は固定してミラーを回転走査させるミラー回転走査方式のメカラジアルスキャナとして、昭和55年（1980年）2月に完成しました。もちろん内視鏡の基本機能は全て装備させました。ミラー回転式を採用したのはその構造の利点はさることながら、他の物真似はしたくないという技術者の意地があったからです。

そして同年3月上旬から、福田先生をはじめとして各施設での臨床検討に入りました。この試作1号機は実際に臨床に供することができました。しかし先端部はまだまだ大きく、診断範囲も90°と狭く、周波数も5MHzと体腔内診断としてはまだ不足感がありました。そして悪いときには1症例、よくて数症例で故障する耐久性の悪さが大きな問題でした。故障し易くて輸送の振動が心配で、業者に任せず全て自分で持って行く有様でした。しょっちゅう故障するので、先生方にもたいへんなご苦労をお掛けしました。ある施設に届けて帰ると別の施設から〝故障〟の連絡が入る、直ぐに修理に飛び出すという状態が続き、月の2／3は出張している状態でした。故障の多さに研究をやめてしまわれる先生方が多い中で、頑張ってくださったのが現在超音波内視鏡研究の先駆者といわれる福田先生や相部先生です。

後日福田先生が飲みに連れて行ってくださった折りに昔を振り返って、〝実は試作1号機を見たとき、これは駄目だと思った〟と打ち明けてくださったことがあります。けれどもそういったら私がやる気を失ってしまうだろうと考えて、駄目という言葉を避けて〝ここがこうできるともっとよいものになる〟と前向きな表現に代えて指摘してくださったのだそうです。私はまんまと乗せられて〝よーし！やってやるぞ〟と改良に励みました。福田先生の医学面での指導だけでなく、精神的な配慮が今日の超音波内視鏡の発展に大きな力を与えてくださったと深く感謝しております。

相部先生にはClassen先生の件[注2)]で竹本先生に一式持参したときに初めてお会いしました。竹本先生が相部先生に〝この装置の将来は君の肩にかかっている。〟という主旨のことをいわれたのを覚えています。相部先生のそれからの研究熱意には頭が下がる思いがしまし

た。直しても直しても壊れる1号機にも音を上げず頑張って、胃壁層構造の研究では素晴らしい成果を上げられ、超音波内視鏡の有用性を示し、超音波内視鏡研究を発展させてくださいました。

超音波内視鏡の発展の壁は技術面だけで有りませんでした。内視鏡の先生方は超音波像の読影に熟練されておらず、一方、超音波の先生方は内視鏡の挿入技術に熟練されておらず、また超音波診断の長所は無害無苦痛非観血であるのに、苦痛を与えてまで使うことへの抵抗が有り、これを打破するのに研究してくださった諸先生方はご苦労なさったと思います。

当時内視鏡の権威であられるある先生が、超音波内視鏡の話を耳にされて興味を持たれ、装置を一式持参して説明に伺ったことが有ります。臨床を終えてその先生が一言、〝君、こんな気象衛星の雲の絵みたいなもので何が分かるんだね〟。ガックリとして帰って来たことを覚えています。試作2号機では先端部を更に小型にするために、走査方式をミラー回転式から振動子回転式に、また走査範囲を180度に広げる等々の改良を加えました。この試作2号機が、現在のメカニカルスキャン方式の超音波内視鏡の原型になっています。」

（群馬県立がんセンター　院長）

なお、紙数の関係で注は次回に掲載。

文献

福田守道ら：体腔内走査法による腹部疾患診断に関する研究(1)超音波内視鏡による胃疾患の診断：(2)改良型超音波内視鏡による検討、日超医講演論文集、37、409（1980）：39、405（1981）